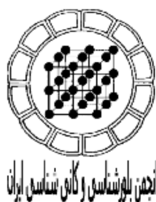
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی ام، شمارۀ چهارم، زمستان ۱۴۰۱، از صفحۀ ۵۹۹ تا ۶۱۴



دگرسانی و کنترل کننده‌های ساختاری کانه‌زایی طلا و مس در منطقه اهر، پهنه ارسباران شمال غرب ایران

گلناز موذن زاده*، یوسف رحیم سوری، مهدی بهیاری

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۶، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۲/۷)

چکیده: منطقه اهر بخشی از پهنه فلززایی ارسباران در شمال غرب ایران بوده که در آن ذخایر گرمابی بسیاری از مس و طلا شکل گرفته است. در این ارتباط، کانسارهای صفی‌خانلو، نیاز، مزرعه، انجرد و کوجنق به عنوان کانسارهای شاخص انتخاب و از آنها برداشت-های ساختاری انجام شد. سنگ آهک‌های کرتاسه به همراه سنگ‌های آتشفشانی به عنوان قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه در کنار لاتیت- آندزیت‌های ائوسن رخنمون دارند. در این سنگ‌های آتشفشانی، سنگ‌های الیگوسن چون صفی خانلو با ترکیب گرانیت– کوارتزمونزونیت و خان کندی با ترکیب مونزونیت- گابرو نفوذ کرده و باعث دگرسانی‌های فیلیک، آرژیلیک و سیلیسی در صفی خانلو، دگرسانی گسترده آرژیلیک در کوجنق و فیلیک و پتاسیمی در منطقه نیاز شده‌اند. با یک وقفه زمانی، فعالیت ماگمایی در میوسن پسین- پلیوسن دوباره شروع و باعث دگرسانی‌های فیلیک و پروپلیتیک در منطقه مزرعه و آرژیلیک، فیلیک، پروپلیتیک و پتاسیمی در انجرد شده‌اند. این دگرسانی‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر و روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و نقشه برداری زاویه طیفی (SAM) بررسی شدند. سپس با بررسی‌های صحرایی، روند شکستگی‌های اصلی در هر یک از کانسارهای نام برده مشخص شده و با نتایج بدست آمده از دورسنجی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که روند غالب پهنه‌های کانی‌سازی و دگرسانی در کانسارهای مورد بررسی شمال‌شرق- جنوب‌غرب است و با روند غالب خطواره‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای همخوانی دارد. بر این اساس، می-توان گفت که ساختارهای از نوع گسل و شکستگی نقش بسیاری در کنترل و شکل‌گیری ذخایر طلا و مس در منطقه اهر داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: *ذخایر گرمابی طلا- مس؛ ساختار؛ تحلیل مولفه اصلی؛ نقشه برداری زاویه طیفی؛ پهنه ارسباران.*

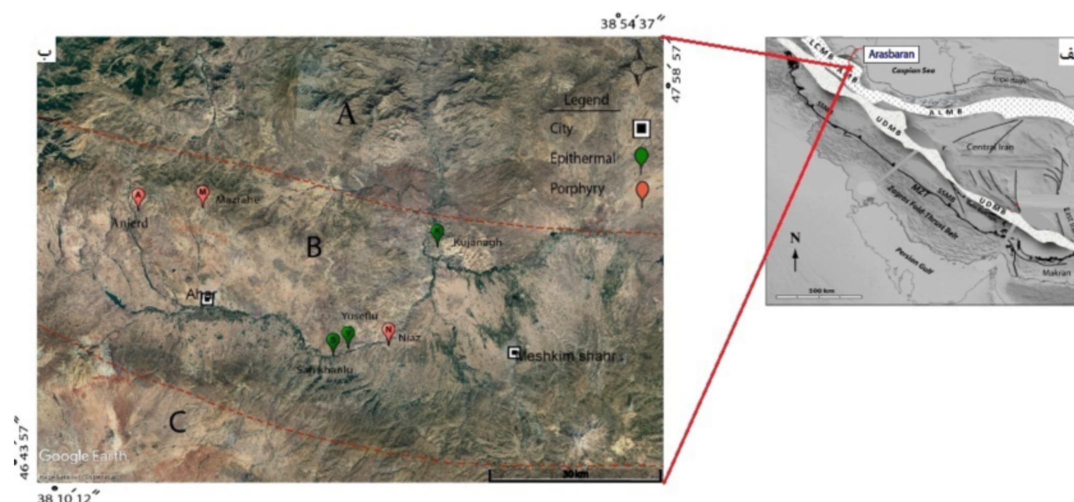
مقدمه

کانسارهای گرمابی از ذخایر معدنی هستند که طی زمان‌های زمین‌شناسی در اثر حرکت‌های زمین ساختی در بالاآمدگی‌های کمان‌های آتشفشانی و صعود مواد فرار با دمای بالا و گاهی به همراه عملکرد آب‌های سطحی در طول شکستگی‌ها شکل می-گیرند [۱]. بخش عمده‌ای از کانسارهای فلزهای گرانبها (طلا و نقره) و پایه (بویژه مس) در سطح جهانی در گروه ذخایر گرمابی قرار دارند. منطقه مورد بررسی که بخشی از پهنه ارسباران است، یک منطقه کوهستانی بوده که در شمال استان آذربایجان شرقی و جنوب رودخانه ارس، در شمال‌غرب ایران واقع است (شکل۱ الف). پهنه فلززایی ارسباران به عنوان بخشی از کمربند ماگمایی البرز- آذربایجان- قفقاز در ایالت فلززایی آلپ – هیمالیا قرار دارد. کانسارهای مس و طلای بسیاری در ایالت فلززایی آلپ – هیمالیا و در پی آن در پهنه فلززایی ارسباران شناسایی شده‌اند [۲-۷]. جمالی و مهرابی [۸] پهنه ارسباران را بر اساس همراهی فلزها و سن کانی‌سازی به سه زیرپهنه فلززایی A، B و C با ویژگی‌های متفاوت تقسیم کرده-اند. یکی از این زیر پهنه‌های فلززایی زیرپهنه مشکین شهر-سیه‌رود با روند تقریبی شرقی- غربی بوده که منطقه اهر در شرق آن واقع است (شکل ۱ ب). در منطقه اهر، تعداد

*نویسنده مسئول، تلفن: ۳۲۷۵۲۷۴۱-۴۳ - ۰۴۴، نمابر: ۳۲۷۵۲۷۴۱-۴۳ - ۰۴۴، پست الکترونیکی: infu@urmia.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]



شکل ۱ الف) کمربند ماگمایی سنوزئیک ایران شامل کمربند ماگمایی ارسباران (AMB)، کمربند ماگمایی البرز (ALMB)، کمربند ماگمایی ارومیه- دختر (UDMB)، کمربند ماگمایی سنندج- سیرجان (SSMB) و پهنه راندگی اصلی زاگرس (MZT) منطقه مورد بررسی روی تصویر با علامت ستاره نشان داده شده است، ب) موقعیت کانسارهای مورد بررسی در منطقه اهرروی تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث کانسارهای مورد بررسی از زیر پهنه مشکین شهر- سیه رود (B) هستند (برگرفته از مرجع [۸] با کمی تغییرات).

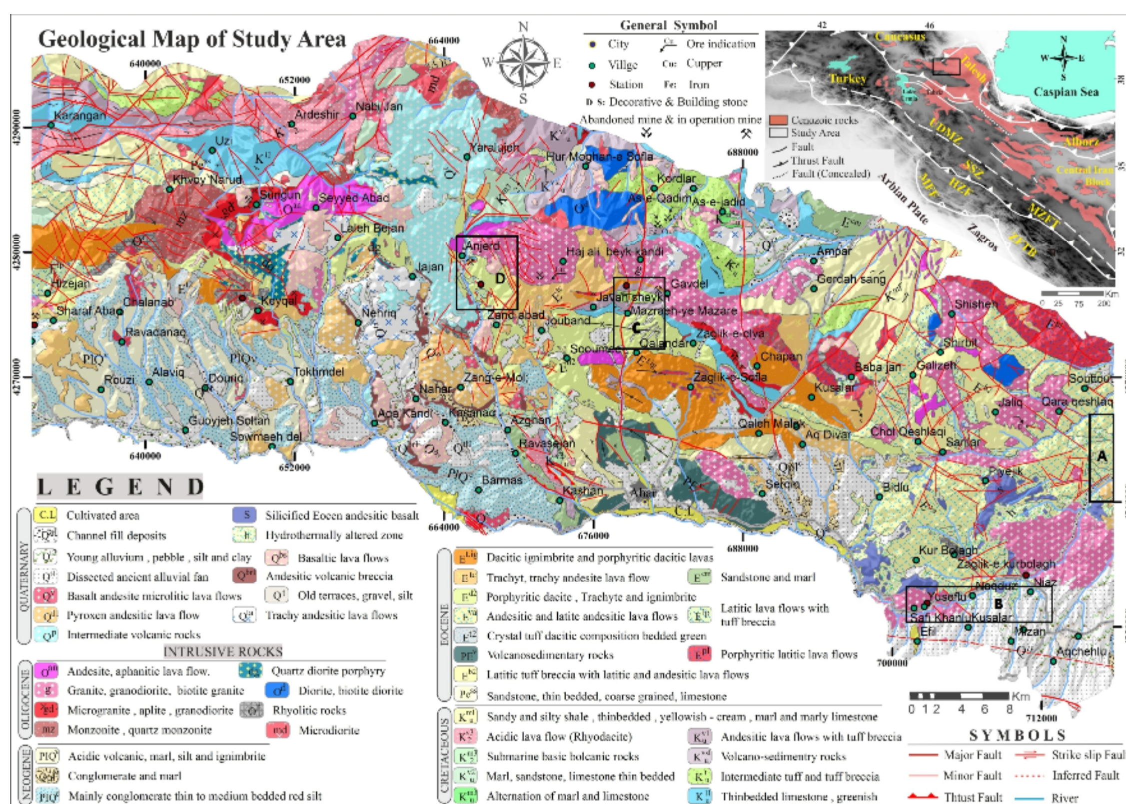
کانسارهای گرمابی طلا در مقایسه با سایر جاها در پهنه ارسباران بیشتر است. برخی از کانسارهای شناخته شده طلا ± مس در پهنه ارسباران عبارتند از کانسارهای مسجد داغی، زایلیک، صفی خانلو، شرف‌آباد، هیزه جان، خاروانا، ساریلار، نقدوز، دوست بیگلو، ساری خانلو، نیاز، باباجان، قلندر، مزرعه، کردلان، مزرعه شادی و انجرد. در این پژوهش، کانسارهای طلا و مس صفی‌خانلو (با طول ″۲۰ ′۱۹ °۴۷ و عرض ″۳۲ ′۲۳ °۳۸)، نیاز (با طول ″۱۳ ′۲۵ °۴۷ و عرض ″۰۵ ′۲۴ °۳۸)، مزرعه (با طول ″۰۷ ′۰۳ ° ۴۷ و عرض ″۳۴ ′۳۷ °۳۸) و انجرد (با طول ″۱۲ ′۵۵ °۴۶ و عرض ″۲۶ ′۳۷ °۳۸) و کانسار کائولن کوجنق (طول″۲۸ '۲۹ °۴۷ و عرض شمالی ″۴۵ '۲۸ °۳۸) که از نظر موقعیت جغرافیایی در شرق زیر پهنه مشکین شهر – سیه رود واقع هستند، به عنوان کانسارهای نوعی انتخاب و بررسی شدند.

روش بررسی

از آنجا که مساحت منطقه مورد بررسی (شکل ۲) به نسبت زیاد و مطالعه آن با روش‌های معمولی زمین‌شناسی صحرایی بسیار زمان‌بر است، برای بررسی واحدهای سنگ‌شناسی و ویژگی‌های کانی‌سازی، دگرسانی و ساختارهای زمین‌شناسی، تعداد چهار کانسار مس و طلا و یک کانسار کائولن با توزیع پراکنده در سطح منطقه انتخاب شده و پس از بازدیدهای صحرایی، برداشت‌های ساختاری از آنها انجام شد. در ادامه، برای شناسایی و گسترش پهنه‌های دگرسانی و ساختارهای اصلی چون گسل و شکستگی‌ها از داده‌های سنجنده استرا (ASTER) منطقه استفاده شد. در پردازش به روش‌های سنجش از دور، ویژگی‌های زمین‌شناسی کانسارها انتخاب شده دوباره بررسی و اصلاح شدند. برای پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای گرفته شده با برنامه ENVI، پس از انجام تصحیحات جوی به روش میانگین نسبی بازتاب داخلی و حذف پوشش گیاهی از تصاویر، رفتار طیفی کانی‌های شاخص برای بارزسازی دگرسانی منطقه بررسی شد. برای پردازش تصاویر از روش‌های تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) و نقشه برداری زاویه طیفی (SAM) استفاده شد.

روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای فشرده کردن مجموعه داده‌های چندطیفی در یک دستگاه مختصات جدید به منظور خارج کردن یا کاهش داده‌های زائد دارای تشابه و ارتباط میان نوارها، استفاده شد. از اهداف این روش، کاهش اندازه مجموعه داده‌ها ضمن حفظ اطلاعات موجود در آنهاست. برای محاسبه مؤلفه‌های اصلی، ماتریس، واریانس، کوواریانس و یا ماتریس همبستگی میان نوارها در نظر گرفته شده و سپس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه این ماتریس را محاسبه می‌کنند. از آنجا که کوواریانس وابسته به یکای اندازه‌گیری داده‌هاست و اطلاعات نوارهای مختلف نیز بازتاب یکسانی ندارند، بهتر است از ماتریس همبستگی استفاده شود [۹].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]



شکل ۲ نقشه زمین شناسی منطقه اهر-ارسباران (ترکیبی از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ اهر، ورزقان، خواجه و کلیبر)، گستره کانسارهای انتخاب شده با مستطیل سیاه روی نقشه نشان داده شده است (A : کوجنق، B : نیاز و صفی خانلو، C : مزرعه، D : انجرد).

در این پژوهش، روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) که از جمله روش‌های رده‌بندی نظارت شده است و از داده‌های طیفی نرم‌افزار برای مقایسه مقادیر هر پیکسل تصویر با طیف کانی‌های مختلف استفاده می‌کند، نیز به کار گرفته شد. الگوریتم این روش، تشابه بین دو طیف را براساس زاویه طیفی بین آن‌ها محاسبه کرده و در نتیجه، موقعیت کانی‌های پهنه‌های دگرسانی را در تصویر مربوطه مشخص می‌کند. از مزیت‌های این روش، شناسایی دقیق کانی‌ها، محل آن‌ها و همچنین گسترش و شدت دگرسانی به تفکیک پهنه‌های مختلف است. در پایان، نتایج بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های کانی‌شناسی با پردازش‌های سنجش از دور مقایسه و تحلیل شد. دلیل انتخاب مساحت به نسبت زیاد منطقه مورد بررسی، مشخص کردن مناطق مستعد کانی‌سازی در سایر مناطق (به غیر از کانسارهای شناخته شده) در منطقه اهر پس از بررسی‌های صحرایی کانسارهای شناخته شده و پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تعمیم نتایج بدست آمده به سایر مناطق پیرامون بود.

زمین شناسی ناحیه‌ای اهر

بر اساس نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی (شکل ۲)، قدیمی‌ترین واحدهای سنگی مربوط به کرتاسه بوده و شامل سنگ آهک‌های نازک لایه خاکستری، آهک‌های مارنی و ماسه‌ای به‌همراه سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری حدواسط هستند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن که اغلب دارای ترکیب لاتیت- آندزیت، آندزیت و آندزیت- بازالتی هستند، بیشترین مساحت را در منطقه مورد بررسی دارند. در این سنگ‌های آتشفشانی، توده‌های نفوذی الیگوسن از جمله توده نفوذی صفی‌خانلو در جنوب‌شرقی اهر با ترکیب گرانیت، گرانودیوریت و کوارتزمونزونیت همراه با دایک‌های اسیدی، توده خان‌کندی در شرق اهر با ترکیب مونزنیت- گابرو به رنگ خاکستری مایل به سبز و گرانودیوریت تا کوارتزمونزونیت به رنگ خاکستری نفوذ کرده‌اند. از سایر توده‌های نفوذی در منطقه می‌توان به توده پورفیری کوارترمونزونیتی نیاز اشاره کرد. پس از فاز ماگمایی الیگوسن و با یک وقفه زمانی در میوسن پسین، فعالیت ماگمایی بعدی در منطقه ارسباران بویژه در منطقه اهر با شکل‌گیری استوک‌های کم‌عمق شروع شده و تا کواترنری ادامه یافته است. سنگ‌های ماگمایی میوسن پسین- پلیوسن با ترکیب اسیدی تا حدواسط شامل گرانیت، گرانودیوریت، تونالیت، کوارتزمونزونیت هستند و به صورت نفوذی‌های نیمه

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]

آتشفشانی به شکل گنبدهای آتشفشانی نمود یافته‌اند. توده نفوذی شیور داغ با طول حدود ۲۵ کیلومتر و عرض متغیر ۲ تا ۷ کیلومتر، با روند شرقی- غربی، از سامبران تا انجرد گسترش یافته است. این توده به درون سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین و ائوسن نفوذ کرده و خود به صورت دگرشیب با سنگ‌های آتشفشانی پلیو- کواترنر با ترکیب آندزیت- تراکی آندزیت پوشیده شده است. توده نفوذی شیور داغ پهنه‌های دگرسانی‌های گرمابی گسترده‌ای را پیرامون خود ایجاد کرده است. سیال‌های گرمابی شکل گرفته از این توده نفوذی ضمن دگرسانی، باعث کانی‌زایی‌های متعددی در مناطقی چون استامال، کیقال، مزرعه، انجرد، و دره علی جواد شده‌اند. در جنوب و غرب روستای انجرد، کانی‌زایی اسکارن مس نیز گزارش شده است [۱۰]. کانی‌زایی پورفیری دیگری در جنوب اسکارن مس انجرد و شمال روستای زندآباد وجود دارد. که بر اثر نفوذ توده مونزونیتی به درون آندزیت‌های ائوسن شکل گرفته و انواع دگرسانی‌های شاخص سامانه‌های پورفیری از جمله دگرسانی‌های پتاسیمی، فیلیک، پروپیلیتیک، آرژیلیک متوسط و پیشرفته در این منطقه تشخیص داده شده است [۱۱].

بحث و نتایج

چنان که پیشتر اشاره شد، در منطقه اهر، تعداد چهار کانسار شاخص مس- طلا و یک کانسار کائولن برای برداشت‌های ساختاری، نمونه برداری و بررسی دگرسانی و کانی‌زایی انتخاب گردید که در ادامه به تفصیل تشریح شده‌اند.

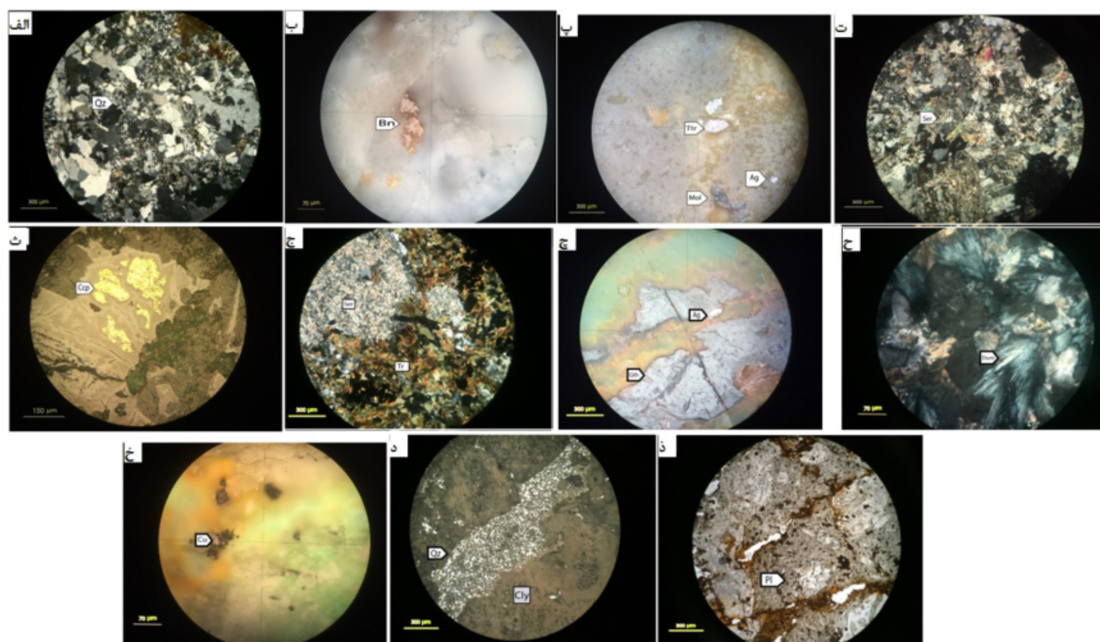
دگرسانی و کانی‌زایی در کانسار صفی‌خانلو

در محل برخورد بین سنگ‌های نفوذی الیگوسن و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در گستره کانسار صفی خانلو، دگرسانی‌های گسترده‌ای شکل گرفته که جمالی و همکاران [۱۲] آنها را دگرسانی‌های ناحیه‌ای نامیده‌اند. این دگرسانی‌ها که تظاهرات سطحی سامانه‌های زمین گرمایی هستند، اغلب شامل دگرسانی‌های فیلیک یا سریسیتیک، آرژیلیک و سیلیسی (شکل ۳ الف) هستند. به سمت بیرون از دگرسانی فیلیک، دگرسانی آرژیلیک حدواسط نمود دارد. کانی‌های پهنه فیلیک شامل کوارتز، سریسیت و پیریت هستند که گاهی پیریت‌ها به اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. پهنه آرژیلیک حدواسط دارای کانی‌های کائولینیت، ایلیت و کوارتز است. فراوان‌ترین کانی سولفیدی در رگه‌های سیلیسی طلادار (شکل ۴ الف) پیریت است که به صورت پراکنده با کوارتز دیده می‌شود. افزون بر پیریت، در مقادیر جزئی کانی‌های کالکوپیریت، تترائدریت، بورنیت، کوبانیت، اسفالریت، مولیبدنیت و ایلمنیت در این پهنه‌های دگرسانی حضور دارند (شکل‌های ۴ ب و پ).



شکل ۳ تصاویر دگرسانی در کانسارهای مورد بررسی: الف) رگه سیلیسی در کانسار صفی خانلو، ب) دگرسانی‌های فیلیک و پروپلیتیک در کانسار مزرعه، پ) دگرسانی‌های آرژیلیک پیشرفته و حدواسط در کانسار انجرد، ت) دگرسانی آرژیلیک پیشرفته در کائولن کوجنق.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]



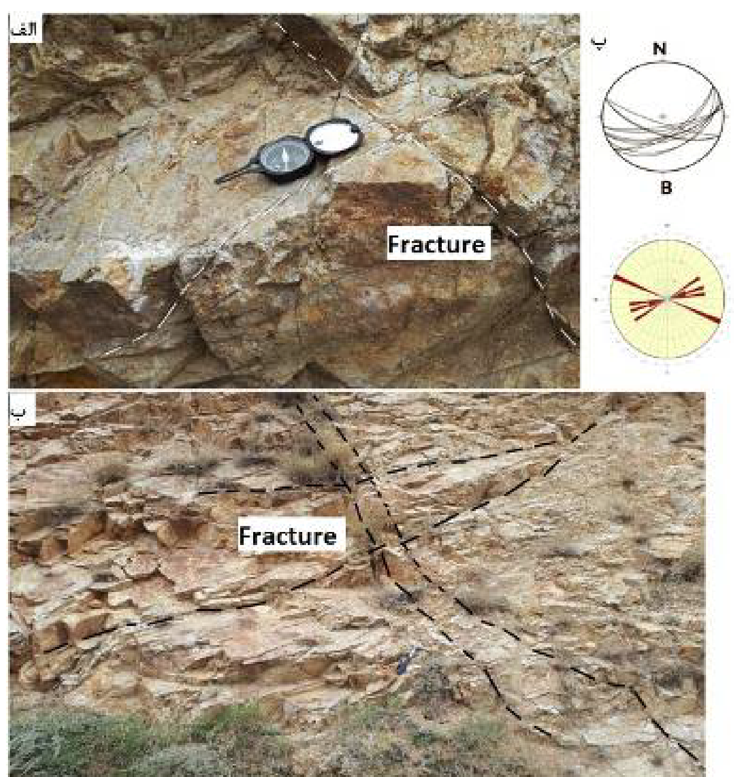
شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی کانسنگ‌های کانسارهای صفی خانلو، نیاز، مزرعه، انجرد وکوجنق: الف) دگرسانی سیلیسی در کانسار صفی خانلو با کانی اصلی کوارتز و مقادیر جزئی پلاژیوکلاز که اغلب به کانی‌های رسی دگرسان شده است (در نور قطبیده متقاطع، XPL)، ب) کانی بورنیت در کانسار صفی خانلو (در نور بازتابشی XPL)، پ)کانی مولیبدنیت، تترائدریت و نقره در کانسار صفی خانلو (در نور XPL)، ت) پهنه دگرسانی فیلیک دربردارنده کانی‌های سریسیت، کوارتز و پیریت درکانسار نیاز، ث) کانی کالکوپیریت در کانسار نیاز، ج) دگرسانی پروپلیتیک با کانی‌های سریسیت و ترمولیت در کانسار مزرعه، چ) گوتیت به همراه نقره در کانسار مزرعه، ح) کانی دمورتیریت در پهنه دگرسانی آرژیلیک پیشرفته درکانسار انجرد، خ) مس طبیعی در کانسار انجرد، د) پهنه آرژیلیک پیشرفته شامل کانی‌های رسی با رگه‌ای از کوارتز در ذخیره کائولن کوجنق (در نور XPL) و ذ) پهنه آرژیلیک حدواسط شامل کانی‌های پلاژیوکلاز در زمینه ریزسنگی درتراکی‌آندزیت دگرسان شده ذخیره کائولن کوجنق (در نور قطبیده صفحه‌ای، PPL). نمادهای کانی‌شناسی Ser: سریسیت، Ccp: کالکوپیریت، Tr: ترمولیت، Ag: نقره، Gth: گوتیت، Cu: مس طبیعی، Dum: دمورتیریت Qz: کوارتز، Cly: کانی‌های رسی، Plg: پلاژیوکلاز، Bn: بورنیت، Mol: مولیبنیت، Ttr: تترائدریت نمادهای کانی‌شناسی برگرفته از مرجع [۱۳] هستند.

دگرسانی منطقه نیاز

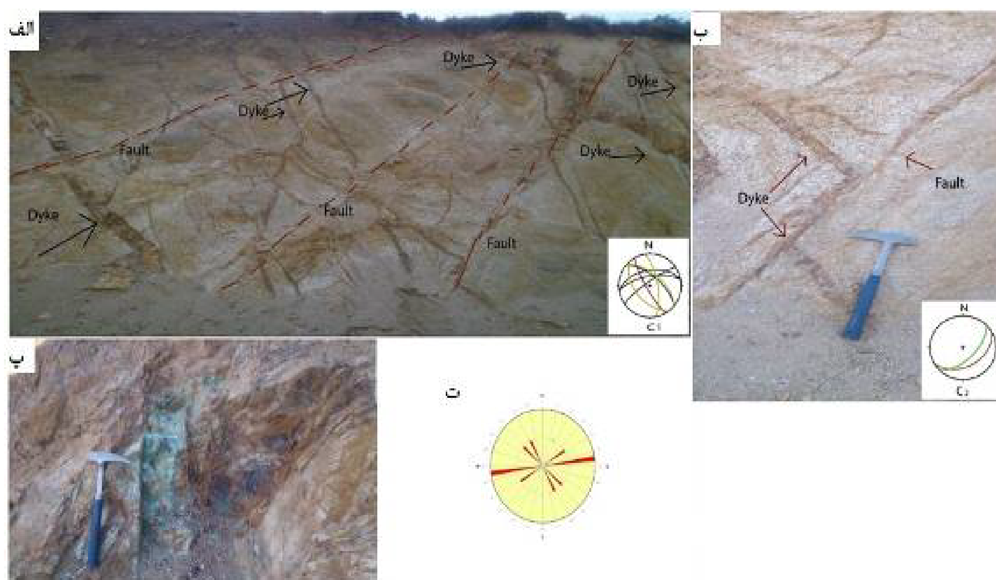
کانسار نیاز اغلب شامل دگرسانی فیلیک (شکل ۵ و ۶) و پتاسیمی است. کانی‌های پهنه دگرسانی فیلیک را کوارتز، سریسیت و پیریت (شکل ۴ ت) و کانی‌های اصلی پهنه پتاسیمی را فلدسپار پتاسیم و بیوتیت ثانویه تشکیل داده‌اند. در دگرسانی فیلیک، سریسیت به صورت پولک‌های ریز در سطح کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم و گاهی به صورت بلورهای مسکویت همراه با انبوهه‌های بلورهای کوارتز در کنار پیریت دیده می‌شود. کلریت، کربنات و کانی‌های رسی نیز به مقداری جزئی قابل مشاهده هستند. در دگرسانی پتاسیمی، پتاسیم فلدسپار به صورت ثانویه و جانشینی در لبه پلاژیوکلازها دیده می‌شود. بیوتیت ثانویه نیز از جانشینی کانی-های مافیک چون هورنبلند شکل گرفته است. در پهنه پتاسیمی، مگنتیت به صورت پراکنده دیده می‌شود.

کانی‌زایی: کانی‌های پیریت، کالکوپیریت (شکل ۴ ث)، بورنیت و مگنتیت به صورت پراکنده در سنگ میزبان و گاه به همراه رگه‌های کوارتز به‌صورت جانشینی دیده می‌شوند. این کانی‌ها در سطح زمین اکسیده شده‌اند و سطح سایر کانی‌ها را آغشته کرده‌اند. رنگ سبز سطح کانسنگ‌ها به دلیل وجود مالاکیت بوده که در پهنه برونزاد از کربناتی شدن سایر کانی‌های مس‌دار به وجود آمده است. بر اساس شواهد صحرایی، کانی‌زایی فقط در توده کوارتزمونزونیتی با بافت پورفیری که به درون توده مونزونیتی- مونزودیوریتی نفوذ کرده، رخ داده است. توده مونزونیتی- مونزودیوریتی بدون کانی‌سازی است. نفوذی‌های بعدی نیز نقشی در کانی‌زایی نداشته‌اند و اغلب باعث تخریب کانی‌سازی اولیه شده و آن را به صورت غیر اقتصادی در آورده‌اند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]



شکل ۵ تصاویرصحرایی از: الف- ب) شکستگی‌ها در پهنه دگرسانی فیلیک، و پ) برداشت‌های زمین ساختی و نمودار گل‌سرخی ساختارهای منطقه نیاز.



شکل ۶ تصاویرصحرایی و برداشت‌های زمین ساختی کانسار مزرعه: الف- ب) دایک‌ها و رگه‌ها که باگسل‌ها قطع شده‌اند، پ) مالاکیت در دگرسانی پروپلیتیک که دچار دگرسانی برونزاد شده است، ت)نمودار گل‌سرخی ساختارهای منطقه مزرعه.

دگرسانی و کانی‌زایی در کانسار مزرعه

بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، پهنه‌های دگرسانی در توده نفوذی مزرعه شامل پهنه‌های فیلیک، پروپلیتیک و بصورت ضعیف پهنه پتاسیمی هستند. دگرسانی پتاسیمی در توده نفوذی گرانیت-گرانودیوریت مزرعه در حد بسیار ناچیزی رخ داده و شامل فلدسپار پتاسیم ثانویه بوده که از تبدیل پلاژیوکلازها از لبه‌ها ایجاد شده است. کوارتز نیز در این پهنه همراه با فلدسپار پتاسیم بسیار دیده می‌شود.

همچنین در این پهنه، فلدسپارها در حال تجزیه به سریسیت بوده و در حجم کمی قابل تشخیص هستند. بر این اساس می‌توان گفت که پهنه دگرسانی موجود حالتی بین پتاسیمی و فیلیک دارد.

پهنه فیلیک (شکل ۳ ب) که بر توده نفوذی مزرعه اثر گذاشته از کانی‌های سریسیت، موسکویت، پیریت، کوارتز و کلریت تشکیل شده است. سریسیت به صورت پولک‌های بسیار ریز دانه دیده می‌شود و از دگرسانی پلاژیوکلازها بوجود آمده است. گاهی شدت این دگرسانی در حدی بوده که فقط شبحی از پلاژیوکلاز باقی مانده است. کلریت نیز در حجمی به نسبت زیاد بهصورت رگچه‌ای در متن سنگ حضور دارد. پیریت نیز به‌صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار همراه با کانی‌های سریسیت و کوارتز دیده می‌شود.

پهنه دگرسانی پروپیلیتی (شکل‌های ۶ ب و ۷ پ) در کانسار مزرعه با حضور اپیدوت و رگه‌های کلریت قابل تشخیص است. در این پهنه، کانی‌های پلاژیوکلاز و گاهی فلدسپار پتاسیم تبدیل به سریسیت شده‌اند، به طوری که در بعضی جاها اثری از کانی اولیه برجای نمانده است. کلریت‌ها اغلب از کانی‌های فرومنیزین شکل گرفته‌اند. پیریت نیز در این پهنه دگرسانی دیده می‌شود. کلریت افزون بر حالت رگه‌ای سبز رنگ گاهی به‌صورت شعاعی با حالتی جهت یافته تبلور یافته است. مسکویت در کنار کانی‌های کلریت و پیریت به‌صورت ورقه‌ای ریز و بلورهای نیمه شکل‌دار دیده می‌شود. کوارتز نیز به مقدار کمی در کنار این کانی‌ها حضور دارد. در بعضی از مقاطع نازک این پهنه، کانی ترمولیت نیز دیده می‌شود (شکل ۴ ج).

کانی‌زایی درونزاد: کانی‌سازی در توده مزرعه در پهنه‌های دگرسانی پتاسیمی و فیلیک به صورت پراکنده و رگچه‌ای رخ داده و شامل کانه‌های پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت و بورنیت است. این کانی‌ها در سطح زمین دچار هوازدگی برونزاد شده‌اند. پیریت با بافت دانه‌ای نیمه شکل‌دار به صورت پراکنده در هر دو پهنه فیلیک و پتاسیمی دیده می‌شود. در نمونه‌های سطحی، پیریت به هماتیت و گوتیت اکسید شده است. کالکوپیریت نیز به‌صورت پراکنده در هر دو پهنه فیلیک و پتاسیمی به‌همراه مگنتیت و بورنیت حضور دارد. فراوانی کالکوپیریت در رگچه‌ها کمی بیشتر از پیریت است. کالکوپیریت در بعضی نقاط از لبه‌ها و شکستگی‌های ایجاد شده در این کانی، به کانی‌های کالکوسیت، کولیت و گوتیت تبدیل شده است. در کنار گوتیت، نقره طبیعی نیز دیده شده است (شکل ۴ چ). مگنتیت نیز با بافت دانه‌ای بی شکل و گاهی بافت اسکلتی به‌صورت پراکنده و در حجمی قابل توجه، کالکوپیریت و پیریت را در مناطق درونزاد همراهی کرده است. مگنتیت بیشتر در محل شکستگی‌ها و لبه‌ها بر اثر اکسایش به هماتیت تبدیل شده و بافت ثانویه مارتیتی از خود نشان می‌دهد. هماتیت نیز از کانی‌های اکسیدی پهنه درونزاد است و در حجمی کم به صورت بی‌شکل و پراکنده در این پهنه حضور دارد. هماتیت به نوبه خود در سطح زمین و در مناطق برونزاد تبدیل به گوتیت و لیمونیت شده است. بورنیت نیز در مقادیر ناچیز نسبت به سایر کانی‌های کدر به صورت بی‌شکل در پهنه‌های دگرسانی پتاسیمی و فیلیک حضور دارد. بورنیت از کالکوپیریت ناشی شده است و در لبه‌های برخی از دانه‌های آن دیده می‌شود. بورنیت به نوبه خود در پهنه برونزاد به کولیت تبدیل شده است.

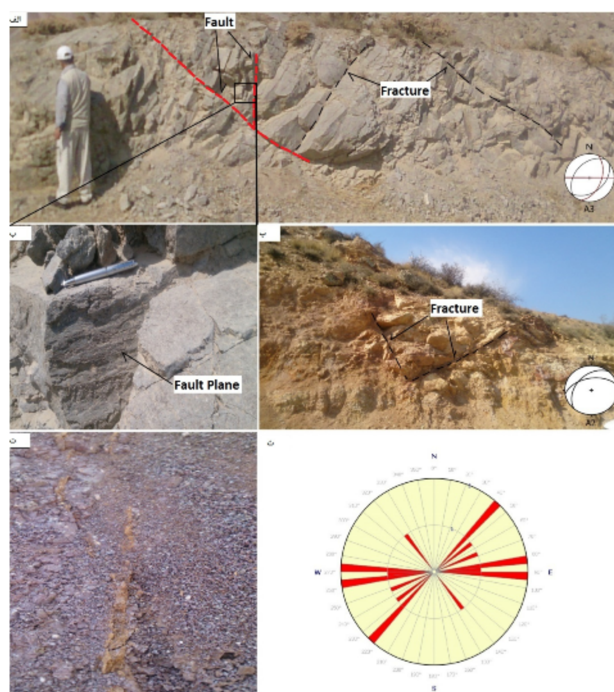
دگرسانی و کانی‌زایی در کانسار انجرد

دگرسانی در کانسار انجرد شامل دگرسانی‌های پتاسیمی، فیلیک، پروپیلیتیک، آرژیلیک پیشرفته و آرژیلیک حدواسط است. دگرسانی پتاسیمی گسترش محدودی دارد و سایر دگرسانی‌ها به‌طور تدریجی به هم تبدیل شده‌اند. دگرسانی آرژیلیکی از گسترش بیشتری نسبت به سایر پهنه‌های دگرسانی دارد و با توجه به کیفیت مناسب، در بخش‌هایی از گستره کانسار انجرد ذخیره کائولن را تشکیل داده است.

دگرسانی پتاسیمی: دگرسانی پتاسیمی بیشتر در سنگ‌های آندزیتی و با شدت بسیار کم در سنگ‌های مونزونیتی رخ داده است. کانی‌شناسی این پهنه دگرسانی شامل فلدسپار پتاسیم، بیوتیت ثانویه و به مقدار جزئی مگنتیت است. در این پهنه، پلاژیوکلازها از لبه‌ها در حال تبدیل شدن کامل به فلدسپار پتاسیم ثانویه هستند. پلاژیوکلازها گاهی بطور جزئی به سریسیت نیز تبدیل شده‌اند.

دگرسانی فیلیک: این پهنه در گستره کانسار انجرد با حضور سریسیت به صورت پولک‌های ریز در کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم، پیریت که دچار دگرسانی برونزاد شده و به اکسیدهای آهن تبدیل گردیده و تنها قالبی از کانی اولیه باقی مانده و کوارتز قابل تشخیص است. این دگرسانی گاهی موجب ناپدید شدن دگرسانی پتاسیمی شده و خود نیز دستخوش دگرسانی آرژیلیک گردیده است. در این پهنه، افزون بر پیریت و مگنتیت، بورنیت نیز به مقدار جزئی حضور دارد.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]



شکل ۷ تصاویرصحرایی و برداشت‌های زمین‌ساختی ذخیره کوجنق: الف) گسل مزدوج در سنگ‌های آندزیتی به همراه شکستگی‌ها، ب) صفحه گسلی در گسل مزدوج، پ) شکستگی‌های موجود در پهنه آرژیلیک پیشرفته، ت) شکستگی‌ها که با سیال‌های گرمابی پر شده‌اند، ث) نمودارگل-سرخی ساختارهای منطقه کوجنق.

دگرسانی آرژیلیک پیشرفته: این دگرسانی در کانسار انجرد گسترش بسیاری دارد (شکل‌های ۳ پ و ۸ پ) و گاهی پهنه دگرسانی فیلیک را پوشانده است. کانی‌های اصلی این پهنه سریسیت، فنژایت، کانی‌های رسی و مقداری کانی دمورتیریت است. کانی دمورتیت در اثر وجود سیال‌های بوردار تشکیل شده است. به نظر می‌رسد که پهنه دگرسانی آرژیلیک به دلیل حضور کانی دمورتیریت در دمای بالا شکل گرفته باشد. این کانی جانشین کانی‌های پلاژیوکلاز شده است و در کنار کانی‌های رسی و کوارتز دیده می‌شود. همچنین این کانی شاخص دگرسانی آرژیلیک پیشرفته است. کانی دمورتیریت در نمونه دستی با رنگ آبی و در زیر میکروسکوپ به صورت رشته‌هایی با بلورهای سوزنی و جهت‌یابی شعاعی و با بافت الیافی دیده می‌شود (شکل ۴ ح).

دگرسانی آرژیلیک حدواسط: این دگرسانی نیز به مقدار قابل توجهی در کانسار انجرد گسترش دارد (شکل ۳ پ). در این پهنه، کانی‌های کوارتز، کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن به همراه سریسیت و کانی‌های کدر حضور دارند. همچنین پلاژیوکلازها به کانی‌های رسی و کانی‌های فرومنیزین به اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند.

دگرسانی پروپیلیتیک: این دگرسانی (شکل ۸ ت) در مقیاس صحرایی در لبه دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک و همچنین در حاشیه دایک‌های تاخیری دیده می‌شود. این دگرسانی همراه با تغییر رنگ سنگ، از خاکستری به سبز روشن تا تیره قابل تشخیص است. در این پهنه دگرسانی، درشت بلورهای سفید رنگ پلاژیوکلاز دیده می‌شود. رنگ سبز روشن ناشی از حضور بلورهای اپیدوت است. کانی‌های شاخص این پهنه دگرسانی اپیدوت‌های ریزدانه همراه با کانی‌های رسی هستند. پلاژیوکلازها در این پهنه به کانی‌های رسی و به مقدار جزئی به کلسیت ثانویه و گاهی به سریسیت تبدیل شده‌اند. کانی‌های کوارتز به مقدار قابل توجهی در کنار کانی‌های رسی دیده می‌شوند. در این پهنه، کانی‌های فرومنیزین همراه با پیریت دچار دگرسانی شده و به اکسیدهای آهن تجزیه شده‌اند.

کانی‌زایی: کانی‌زایی در کانسار انجرد به صورت پراکنده در هر دو توده نفوذی مونزونیتی و آندزیتی دیده می‌شود و بیشتر به صورت کانی‌سازی درونزاد رخ داده است. کانی‌سازی برونزاد گسترش ناچیزی دارد و بیشتر به صورت آغشتگی از کانی مالاکیت روی سطوح سنگ‌های میزبان است. در کانی‌زایی درونزاد، کانی‌های مگنتیت، پیریت، بورنیت درون توده نفوذی و

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]

در پهنه‌های پتاسیمی، فیلیک و پروپیلیتیک شکل گرفته‌اند. مگنتیت به صورت بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار که اغلب در حال مارتیتی شدن هستند دیده می‌شود. پیریت نیز به صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار و پراکنده حضور دارد. بورنیت به صورت بلورهای بی شکل کاملاً ریزدانه که در بعضی از مقاطع به کالکوسیت تبدیل شده است، دیده می‌شود. نقره آزاد بصورت ریزدانه با رنگ مایل به سفید و مس طبیعی نیز در مقاطع تشخیص داده شده‌اند (شکل ۴ خ).

در ادامه با توجه به وجود ذخایر کائولن با حجم بالا که بر اثر دگرسانی گرمابی در منطقه شکل گرفته‌اند، دگرسانی کانسار شناخته شده کائولن کوجنق بررسی می‌شود.

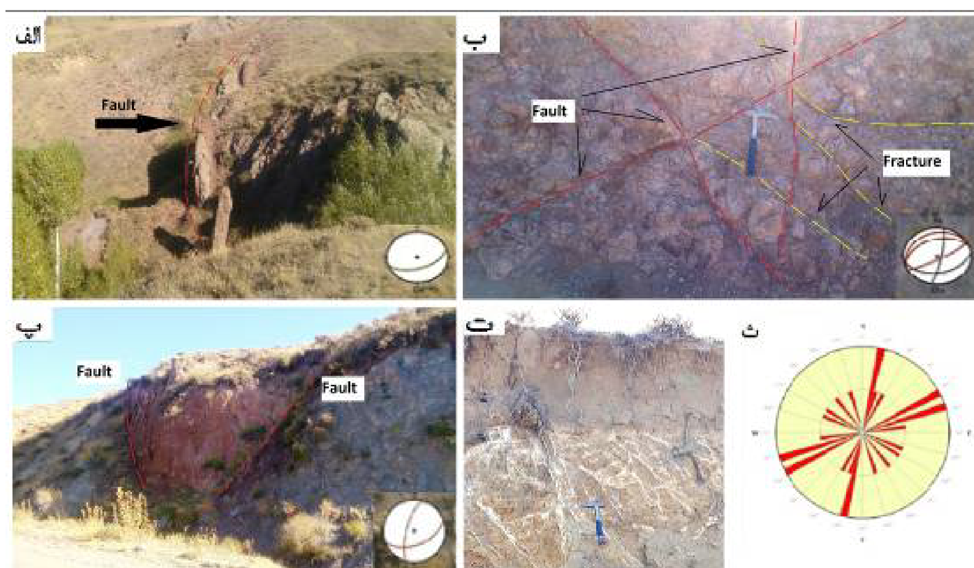
دگرسانی در کانسار کائولن کوجنق

این ذخیره غیرفلزی در شمال غرب مشکین شهر با مختصات نقطه مرکزی ″۴۵ '۲۸ °۳۸ عرض شمالی و ″۲۸ '۲۹ °۴۷ طول شرقی واقع است. این کانسار برآمده از دگرسانی سنگ های آتشفشانی ائوسن با ترکیب تراکی آندزیت و آندزیت توسط توده‌های نفوذی جوان‌تر الیگوسن است. پهنه‌های دگرسانی در این کانسار (شکل‌های ۳ ت و شکل ۵ پ) شامل آرژیلیک با کانی شاخص کائولینیت، آرژیلیک پیشرفته با کانی‌های شاخص آلونیت و کائولینیت در همراهی با اکسیدهای آهن و در حجمی کمتر پهنه دگرسانی سیلیسی است. گستره دگرسانی در این کانسار به شکل عدسی است.

پهنه آرژیلیک حدواسط: این دگرسانی در بخش‌های بیرونی منطقه دگرسان شده کائولینیتی قرار دارد و سایر دگرسانی‌های درونی‌تر را پوشانده است. سنگ‌های خارج از این پهنه، تقریباً غیر دگرسان هستند. کائولن در این ذخیره، بسته به درجه خلوص آن به رنگ‌های سفید تا زرد و مایل به قهوه‌ای (به دلیل آغشتگی به اکسیدهای آهن) دیده می‌شود. براساس نتایج پراش پرتوی ایکس (XRD)، کانی اصلی تشکیل دهنده این پهنه دگرسانی کائولینیت و کانی‌های فرعی مونت‌موریلونیت و هماتیت هستند. در این پهنه، قطعه‌هایی از سنگ‌های خاستگاه از نوع آندزیت و تراکی آندزیت شناسایی شده‌اند (شکل ۴ ذ).

پهنه آرژیلیکی پیشرفته: کانی‌های اصلی این پهنه کائولینیت، آلونیت و کوارتز هستند که گاهی با مقادیر کمی آناتاز و گوگرد طبیعی همراهی شده‌اند. این پهنه اغلب در بخش‌های درونی‌تر با پهنه سیلیسی همراهی شده است (شکل ۴ د).

پهنه سیلیسی: این پهنه بیشتر در بخش‌های مرکزی عدسی دگرسانی گسترش یافته و اغلب شامل کریستوبالیت، کوارتز و مقادیر جزئی روتیل و گوگرد طبیعی است. در این پهنه، سیلیس به صورت کوارتز بازماندی و حفره‌دار، رگچه‌ای و قطعه‌های برش سیلیسی شده در بخش‌های مرکزی ذخیره کائولن دیده می‌شود.



شکل۸ تصاویرصحرایی و برداشت‌های زمین ساختی کانسار انجرد؛ الف) تصویری از گسل که در مرز بین سنگ‌های آندزیتی ائوسن (سمت راست تصویر) و رسوبات میوسن (سمت چپ تصویر) قرارگرفته است، ب) تصویری از گسل‌ها و شکستگی‌های موجود، پ) تصویری از یک گسل مزدوج در پهنه آرژیلیکی، ت) تصویری از برش‌های هیدروترمالی در پهنه پروپلیتیک، ث) دیاگرام گل سرخی ساختارهای منطقه انجرد.

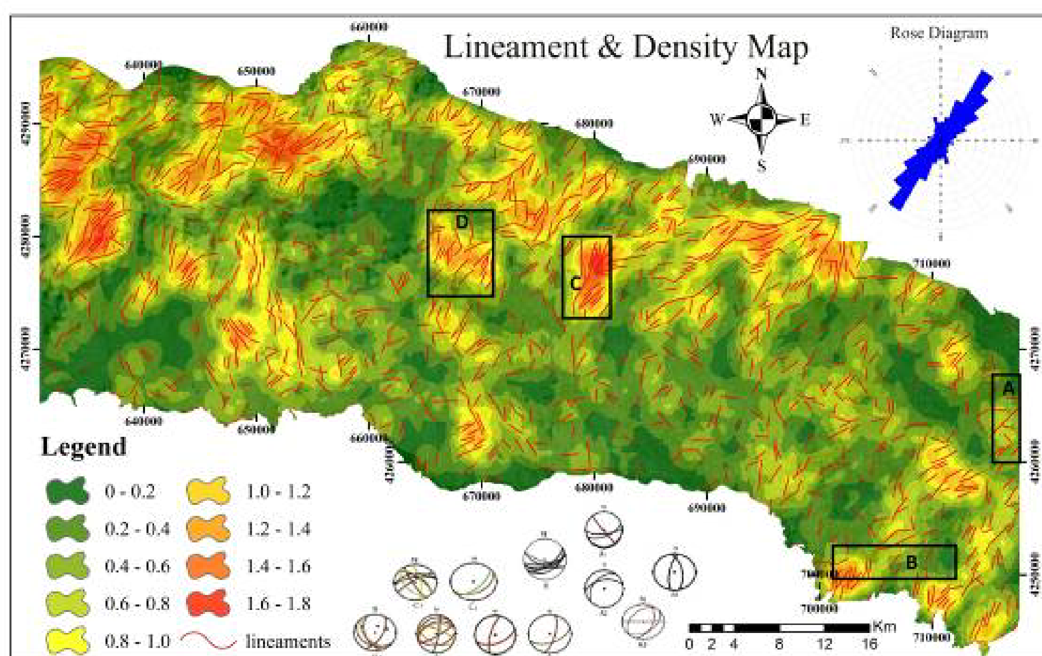
[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

پردازش تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد آن در پی‌جویی مواد معدنی امروزه توجه زمین‌شناسان بسیاری را به خود جلب کرده است. تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌های موثر در تشکیل ذخایر معدنی و شناسایی پهنه‌ها و سنگ‌های دگرسان شده بر اساس ویژگی‌های طیفی آنها از مزیت‌های این کار در حوزه زمین‌شناسی است. سنجش از دور با کمینه کردن بررسی‌های سطحی در مناطق غیر قابل دسترس بر اهمیت آن افزوده است [۱۴-۱۷]. امروزه سنجش از دور یک ابزار قدرتمند در شناسایی واحدهای سنگی گرمابی، ساختارها، چگالی سنگ‌ها و سایر اطلاعات ارزشمند است [۱۴، ۱۷-۳۰] دقت پردازش داده‌های ماهواره‌ای به اندازه‌ای است که می‌توان کانی‌هایی را که در مقاطع میکروسکوپی قابل تشخیص نیستند چون کانی‌های رسی را شناسایی کرد. این امر با وجود تفاوت‌های جزئی در گستره طیف جذبی و بازتابی امواج الکترومغناطیسی در کانی‌ها قابل تشخیص است.

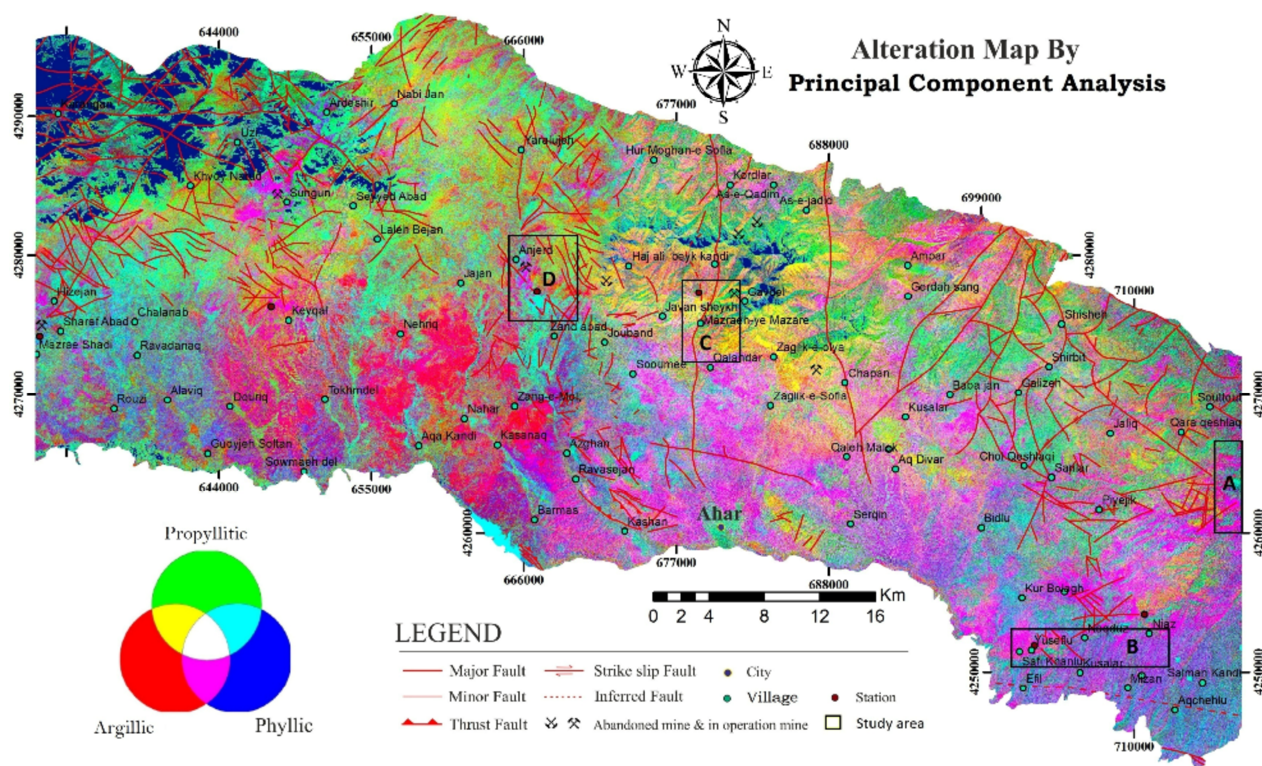
برای بررسی نقش گسل‌ها و شکستگی‌ها در تشکیل ذخایر گرمابی اقدام به استخراج خطواره‌ها و تهیه نقشه چگالی خطواره‌ها در منطقه اهر شد (شکل ۹) و سپس تهیه نقشه دگرسانی به روش‌های تحلیل مولفه اصلی (PCA) و نقشه برداری زاویه طیفی (SAM) شد و برای تایید آن از نتایج صحرایی استفاده گردید. در روش PCA، دگرسانی‌های آرژیلیکی به رنگ قرمز، دگرسانی فیلیک به رنگ آبی و دگرسانی پروپلیتیک به رنگ سبز نمایان شده‌اند (شکل ۱۰). دگرسانی‌های غالب در منطقه A (ذخیره کائولن کوجنق) آرژیلیکی و سیلیسی بوده‌اند. این منطقه در نقشه دگرسانی تهیه شده به روش PCA دارای مساحت بسیار کمی به رنگ قرمز بوده و رنگ غالب در آن، رنگ‌های ترکیبی بویژه رنگ بنفش است. در نقشه تهیه شده به روش نقشه برداری زاویه طیفی (SAM)، کانی ایلیت با رنگ سبز به عنوان شاخص پهنه دگرسانی فیلیک، کانی کائولینیت با رنگ آبی به عنوان شاخص پهنه دگرسانی آرژیلیک و کانی کلریت با رنگ قرمز به عنوان شاخص پهنه دگرسانی پروپیلیتیک مشخص شده‌اند (شکل ۱۱). با توجه به نقشه دگرسانی تهیه شده به روش SAM، در منطقه A، کانی کائولینیت به مقدار زیاد، کانی ایلیت به مقدار کمتر و کانی کلریت به مقدار جزئی آشکار شده‌اند. از این رو با روش SAM، دگرسانی آرژیلیکی بهتر نمایان شده است.

در منطقه B (کانسار نیاز و صفی خانلو)، دگرسانی‌های غالب فیلیک و پتاسیمی هستند. در روش PCA بیشتر رنگ‌-های دیده شده، رنگ‌های ترکیبی هستند (شکل ۱۰) و رنگ آبی که نشانگر پهنه فیلیک است، رخنمون کمتری در تصویر دارد. این در حالی است که در روش SAM، کانی ایلیت به عنوان نشانگر پهنه فیلیک از گسترش بیشتری دارد (شکل ۱۱).

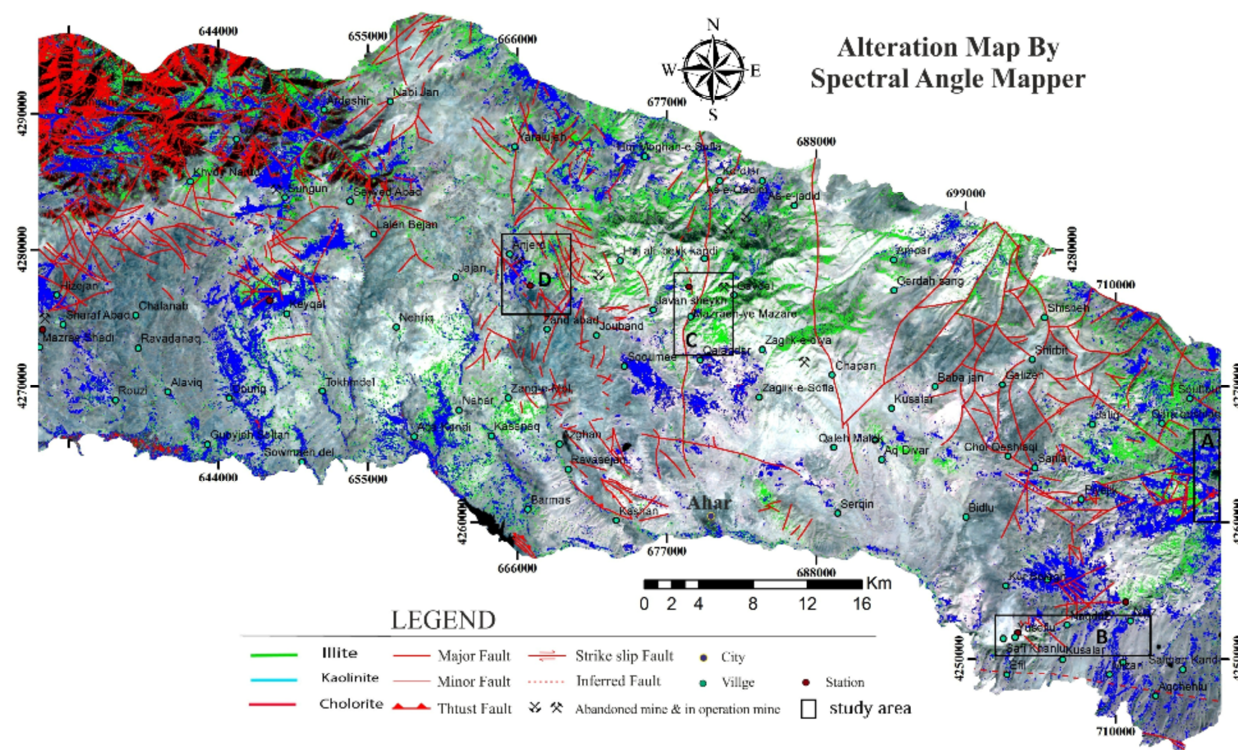


شکل۹ نقشه چگالی خطواره‌های منطقه اهر-ارسباران همراه با نمودار گل سرخی مربوط به برداشت داده‌های ساختاری. محدوده کانسارهای انتخاب شده با کادر سیاه روی نقشه نشان داده شده است (A: کوجنق، B: نیاز و صفی خانلو، C: مزرعه، D: انجرد).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]



شکل ۱۰ نقشه دگرسانی‌های منطقه اهر-ارسباران تهیه شده به روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی(PCA)، محدوده کانسارهای انتخاب شده با کادر سیاه روی نقشه نشان داده شده است (A: کوجنق، B: نیاز و صفی خانلو، C: مزرعه، D: انجرد).



شکل ۱۱ نقشه دگرسانی‌های منطقه اهر-ارسباران تهیه شده به روش نقشه برداری زاویه طیفی (SAM)، محدوده کانسارهای انتخاب شده با کادر سفید روی نقشه نشان داده شده است (A: کوجنق، B: نیاز و صفی خانلو، C: مزرعه، D: انجرد).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]

در نقشه دگرسانی تهیه شده به روش PCA از در منطقه C (کانسار مزرعه) (شکل ۱۰)، دگرسانی پروپلیتیک با رنگ سبز و دگرسانی فیلیک با رنگ آبی با مساحتی کمتر دیده می‌شوند. رنگ‌های غالب، رنگ‌های ترکیبی بوده که نشان دهنده همپوشی پهنه‌های دگرسانی پتاسیمی و فیلیک با آرژیلیک هستند. در نقشه دگرسانی تهیه شده به روش SAM، وجود کانی‌های ایلیت به رنگ سبز بیانگر پهنه فیلیک و کانی کائولینیت به رنگ آبی و با فراوانی بسیار کم در گستره کانسار مزرعه نشانگر پهنه آرژیلیک می‌باشد (شکل ۱۱).

در منطقه D (کانسار انجرد)، براساس نقشه دگرسانی تهیه شده به روش PCA، رنگ قرمز نشان از پهنه آرژیلیکی است و رنگ‌های ترکیبی سبز - آبی نمایانگر منطقه همپوشی دگرسانی‌های فیلیک و پروپیلیتیک و رنگ گلبهی نشان دهنده منطقه همپوشانی دگرسانی آرژیلیک و فیلیک هستند (شکل ۱۰). در نقشه دگرسانی تهیه شده به روش SAM، کائولینیت با رنگ آبی و ایلیت با رنگ سبز نشان دهنده پهنه‌های آرژیلیک و فیلیک هستند که در منطقه گسترش قابل ملاحظه‌ای دارند (شکل ۱۱).

بررسی برداشت‌های ساختاری

پس از بررسی‌های دورسنجی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر و پردازش‌های لازم، برای تایید نتایج دور سنجی انجام شده و ارتباط بین ساختارهایی چون گسل‌ها و شکستگی‌ها با کانی‌زایی‌های موجود، برداشت‌های زمین‌ساختی طی بازدیدهای صحرایی انجام شد. از آنجا که در منطقه اهر و پیرامون آن ساختارهای موجود متاثر از رخداد دو گسل در شمال و جنوب اهر هستند، برای بررسی اثر این گسل‌ها در کانی‌زایی و ایجاد دگرسانی‌ها، از چهار منطقه A (ذخیره کائولن کوجنق)، B (کانسار نیاز و صفی خانلو)، C : (کانسار مزرعه) و D (کانسار انجرد) برداشت شد.

در منطقه A (ذخیره کائولن کوجنق) از ۴ ایستگاه زمین-شناسی برداشت قرار شد. برداشت‌های ایستگاه نخست از محل یک گسل معکوس با روند ۱۴۰٫۸۵، دایک‌هایی که درون سنگ‌های آندزیتی نفوذ کرده‌اند و شکستگی‌های موجود، انجام شد. گسل معکوس در این منطقه نیروهای فشارشی غالب بر منطقه را نشان می‌دهد. تراکم شکستگی‌ها در این منطقه دارای روند غالب شمال شرق- جنوب غرب است. برداشت‌های ایستگاه دوم که با فاصله کمی از محل ایستگاه اول قرار دارد از دایک-های با ترکیب اسیدی و بافت پورفیری و پرلیتی بود. ساختارهای غالب این ایستگاه شکستگی‌هایی با راستای مانند ایستگاه قبل شمال‌شرق- جنوب‌غرب هستند. برداشت‌های ایستگاه سوم از محل پهنه گسلی شکل گرفته در سنگ‌های آندزیتی انجام شد. گسل‌های این ایستگاه مزدوج بوده و دارای روندهای ۰۲۰٫۵۰ و ۰۹۰٫۹۰ هستند (شکل الف ۵). شکستگی-های موجود در این ایستگاه راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب دارند. گسل‌های مزدوج موجود در این ایستگاه سازوکار راندگی دارند. در شکل ۸ ب، صفحه گسلی یکی از گسل‌های مزدوج دیده می‌شود. برداشت‌های انجام شده از این سه ایستگاه نشان داده است که گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های آندزیتی نقشی در کانی‌زایی نداشته‌اند و اغلب بیانگر نیروهای فشارشی موجود در منطقه هستند. برداشت‌های ایستگاه چهارم از محل دگرسانی آرژیلیکی انجام شده. شکستگی‌ها در این ایستگاه دارای روند غالب شمال‌غرب- جنوب‌شرق هستند (شکل ۸ پ). شکستگی‌های موجود در ایستگاه آخر ارتباط بسیار تنگاتنگی با دگرسانی داشته و محلی برای عبور سیال-های گرمابی و دگرسانی آندزیت‌های منطقه بوده‌اند (شکل ۸ ت). بر اثر عبور این سیال‌های گرمابی، پهنه‌های دگرسانی آرژیلیک حدواسط و پیشرفته شکل گرفته‌اند که تایید کننده مناسب بودن روش SAM در دورسنجی (با رنگ آبی) هستند. نمودار گل‌سرخی ساختارهای زمین‌ساختی منطقه کوجنق در شکل ۸ ث، آورده شده است.

در منطقه B (کانسار نیاز و صفی خانلو)، شکستگی‌ها ساختارهای غالب در منطقه بوده (شکل‌های ۷ الف و ب) و دارای روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب و شمال‌غرب – جنوب‌شرق هستند. دگرسانی‌های پتاسیمی و فیلیک منطقه با پیروی از روند شکستگی‌ها در سنگ‌های کوارتزمونزونیتی گسترش یافته-اند. همچنین، شکستگی‌های موجود در این مناطق باعث تسهیل گردش سیال‌های جوی شده‌اند و در نتیجه آن،

دگرسانی برونزاد گسترش بیشتری یافته است. رنگ سبز ایلیت در دورسنجی به روش SAM بیانگر این امر است. نمودار گل- سرخی ساختارهای زمین ساختی در شکل ۷پ نشان داده شده است.

در منطقه C (کانسار مزرعه)، سه ایستگاه برداشت شد. ایستگاه نخست در محل سنگ‌های گرانودیوریتی آن سنگ‌های جوان‌تر نفوذ کرده‌اند واقع است. در این ایستگاه، تعداد زیادی دایک‌های سیلیسی، سنگ‌های گرانودیوریتی را قطع کرده‌اند (شکل‌های ۸ الف و ب). این دایک‌ها به نوبه خود با گسل‌های معکوسی با راستای تقریبی ۱۵۰/۸۰ قطع شده‌اند. شیب گسل- ها به سمت جنوب‌غرب است. شکستگی‌های دیگری نیز در سنگ‌های این ایستگاه با فراوانی بسیار کم دیده شد. ایستگاه دوم از محل دگرسانی فیلیک برداشت شد. در این ایستگاه، گسلی با روند ۰۶۰/۴۰ رگه‌های سیلیسی موجود را قطع کرده است (شکل ۸ ب). برگوارگی‌ها از دیگر ساختارهای موجود در این ایستگاه هستند. (رنگ‌های سبز و آبی با فراوانی کم در روش SAM نمایانگر این امر هستند). مالاکیت‌ها در این ایستگاه ساختار بودین دارند. ایستگاه سوم از محل سنگ آهک- های کنار سنگ‌های گرانودیوریتی برداشت شد. این سنگ آهک‌ها دارای لایه‌بندی و چین‌خوردگی به نسبت قائم هستند که بیانگر اثر نیروهای فشارشی در منطقه است. گسل‌های موجود در این منطقه بیشتر از نوع معکوس هستند و ساز و کار راندگی دارند.

در گستره کانسار مزرعه، گسترش پهنه‌های دگرسانی و کانی‌زایی برونزاد بالاست (شکل ۸ پ) که دلیل آن وجود شکستگی‌ها و گسل‌های بیشتر در سنگ‌هاست. این ساختارها بستر مناسبی برای عبور سیال‌های گرمابی هستند و بر اثر آن پهنه‌های دگرسانی گسترش قابل ملاحظه‌ای می‌یابند. به دنبال فراهم شدن این شرایط، کانی‌ها در مسیر شکستگی‌ها بیشتر نهشته می‌شوند. وجود مالاکیت‌های با ساختار بودین در این ایستگاه نشان دهنده نقش شکستگی‌ها و گسل‌ها در کانی‌زایی است.

در منطقه D (کانسار انجرد)، چهار ایستگاه برداشت شد، برداشت‌های ایستگاه نخست از رخنمون پهنه آرژیلیکی انجام شد. در این ایستگاه، گسل‌های بسیاری وجود دارند. برخی از دایک‌های موجود در این ایستگاه با گسل‌های مزدوج با روندهای ۰۸۰/۴۰ و ۰۶۰/۸۰ قطع شده‌اند (شکل ۷ ب). اغلب گسل‌های شناسایی شده در این ایستگاه از نوع معکوس هستند. در این ایستگاه، رخنمون گسترده‌ای از برش‌های گرمابی دیده می‌شود (شکل ۷ ت). برداشت‌های ایستگاه دوم از محل رخنمون سنگ‌های آندزیتی به عنوان سنگ مادر کائولن با روند ۱۱۰/۷۰ انجام شد. گسل‌های موجود در این ایستگاه دارای روندهای ۲۴۰/۲۰، ۲۵۰/۴۰ و ۱۶۵/۶۵ هستند (شکل ۷ الف). دایک‌های با روند ۲۶۰- ۱۱۶ و شیب ۵۰ درجه و ۲۹۰/۷۰ از دیگر ساختارهای موجود در این ایستگاه هستند. جنس دایک‌ها با سنگ میزبان یکسان و هر دو از نوع آندزیت هستند. از سایر ساختارهای موجود در این ایستگاه می‌توان به شکستگی‌های فراوان پیرامون گسل‌ها اشاره کرد که اغلب دارای روند شمال- شرق- جنوب‌غرب هستند. در ایستگاه سوم این منطقه، گسل- های مزدوج با راستای ۰۷۰/۵۳ و ۱۹۵/۷۰ شناسایی شدند که دارای سازوکار راندگی هستند و سنگ‌های بین آن‌ها خرد شده‌اند (شکل ۷ پ). ایستگاه آخر این منطقه دارای ساختارهای گسل با روند ۰۱۴/۷۰، دایک با روند ۰۷۰/۵۳ و برش‌های گرمابی با راستای شمال شرق- جنوب غرب است. در این ایستگاه، دگرسانی پروپیلیتیک با رنگ سبز دیده می‌شود و گسل‌های موجود باعث گسترش این دگرسانی شده‌اند. وجود درزه‌ها به شکل‌گیری برش‌های گرمابی کمک بسیاری نموده‌اند. گسترش پهنه‌های دگرسانی آرژیلیک، فیلیک و وجود برش‌های گرمابی در محل گسل‌ها و شکستگی‌ها نشان دهنده نقش گسل‌ها و شکستگی‌ها، به‌عنوان مسیری برای عبور سیال- های گرمابی و گسترش دگرسانی‌هاست این امر تاییدی بر دورسنجی‌های انجام شده (کائولینیت با رنگ آبی و ایلیت با رنگ سبز به عنوان دگرسانی‌های آرژیلیک و فیلیک در روش SAM) است.

برداشت

بر اساس نقشه چگالی خطواره‌ها (شکل ۹)، روند کلی گسل‌ها و شکستگی‌ها در منطقه اهر شمال‌شرق- جنوب‌غرب و شمال-

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]

غرب- جنوب‌شرق است. بررسی‌های صحرایی، برداشت‌های زمین‌ساختی، پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های دگرسانی با روش‌های PCA (شکل ۱۰) و SAM نیز نشان داد که روند کلی دگرسانی‌ها و کانی‌سازی در منطقه اهر منطبق بر روند شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه است. روند اصلی گسل و شکستگی‌ها بر اساس برداشت‌های زمین‌ساختی در گستره کانسار نیاز، شمال‌شرق- جنوب‌غرب بوده و گسترش دگرسانی-های عمده (فیلیک و برونزاد) نیز منطبق بر این روند است. پهنه‌های دگرسانی غالب (فیلیک) و توده نفوذی گرانودیوریتی در گستره کانسار مزرعه دارای دو روند شمال-شرق- جنوب‌غرب و شمال‌غرب- جنوب‌شرق بوده که منطبق بر راستای گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه هستند؛ البته، کانی-سازی اصلی از ساختارهای با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب پیروی کرده است. در گستره کانسار انجرد، روند اصلی گسل‌ها و شکستگی‌ها و راستای دگرسانی‌های آرژیلیکی و سنگ مادر آندزیتی شمال‌شرق – جنوب‌غرب تعیین گردید. از این رو، روند غالب کانی‌سازی در این منطقه نیز شمال‌شرق- جنوب‌غرب است. اغلب ساختارها در گستره کانسار کائولینیتی کوجنق دارای روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب هستند و گسترش پهنه-های دگرسانی آرژیلیکی آن منطبق بر گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه است. در مجموع، با توجه به نقشه چگالی خطواره‌ها (شکل ۹)، دو روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب و شمال‌غرب-جنوب‌شرق شناسایی گردید که روند اصلی در منطقه اهر، شمال‌شرق- جنوب‌غرب است و دگرسانی‌ها و کانی‌سازی‌ها از این روند پیروی کرده‌اند. از این رو از نتایج این پژوهش می‌توان در طراحی‌های اکتشافی ذخایر طلا و مس گرمابی در سایر نواحی پهنه ارسباران بهره گرفت و ضمن مدیریت زمان و انتخاب بهتر مناطق مستعد کانی‌سازی، هزینه‌های اکتشافی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.

قدردانی

به این وسیله نگارندگان از حمایت‌های معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه و داوران محترم مجله برای ارائه نظرات سازنده، قدردانی می‌کنند.

مراجع

[1] Pirajno F., *"Hydrothermal processes associated with meteorite impacts"*, Springer Netherlands (2009) 759p.

[2] Alavi G., Radmard K., Zamanian H., Hosseinzadeh MR., Ahmadi Khalaji A., *"Geochemistry of skarn and porphyry deposits in relation to epithermal mineralization in the Arasbaran metallogenic zone, NE Tabriz*", Iran. Geological Quarterly 64 (1) (2020) 141–164.

[3] Faramarzi R., Alipour P., Khaleghi F., Abedini A., *"Mineralogy, Alteration and Fluid Intermediates of Qarachi Summer Mineralization Event, Northwest of Ahar, Northwest of Iran*", *(in Persian)* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy Volume 29, Number 1 (1400)

[4] Hou Z., *"The Himalayan Yulong copper Belt: product of large- scale strike- slip faulting in Eastern Tibet*", Eco. Geo., vol: 98 (2003) pp: 125–145.

[5] Golonka J., *"Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic*", Tectonophysics, 381 (2004) 235–273.

[6] Miranuri A., klagari A., Siahchishm K., Sohrabi GH., *"Geochemical study of alteration zones around Zaylik gold siliceous veins, East Ahar, East Azerbaijan Province*", *(in Persian)* Iranian Journal of Crystallography and MineralogyVolume 27 (2011) Number 2

[7] Radmard K., Zamanian H., Hosseinzadeh M. H., Ahmadi Khalaji A., *"Investigation of Mineralization, Geochemistry and Fluid Intermediates in Quartz Veins in Shadi Farm Gold Reserve (Northeast of Tabriz)"*, *(in Persian)* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy Volume 25 (2017) Number 4.

[8] Jamali H., Mehrabi B., *"Relationships between arc maturity and Cu-Mo-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt*", Ore Geol. Rev. 65 (2015) 487-501.

[9] Soe J., Mikkelson J., de Kreij A., *"U.S. Patent Application*", No. 10/911(2005)160

[10] Mollai H., Pe-Piper G., Dabiri R., *"Genetic relationships between skarn ore deposits and magmatic activity in the Ahar region, Western*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]

[21] Pour A.B., Park Y., Park T.S., Hong J.K., Hashim M., Woo J., Ayoobi I.,*" Evaluation of ICA and CEM algorithms with Landsat-8/ ASTER data for geological mapping in inaccessible regions",* Geocarto Int 34(7) (2018)785–816.

[22] Pour AB., Park T-YS., Park Y., Hong J.K., Muslim A.M., Läufer A., Crispini L., Pradhan B., Zoheir B., Rahmani O., Hashim M., Hossain M.S., *"Landsat-8, advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer, and WorldView-3 multispectral satellite imagery for prospecting copper-gold mineralization in the northeastern Inglefield Mobile Belt (IMB)*", northwest Greenland. Remote Sens 11(20) (2019) 2430.

[23] Drury S.A., *"Image interpretation. In Geology, (Edited by Nelson Thornes)*", Blackwell Science, USA. ISBN 978-0-632-05408-4 (2001).

[24] Beygi S., Talovina I.V., Tadayon M., Pour A.B., *"Alteration and structural features mapping in Kacho-Mesqal zone, Central Iran using ASTER remote sensing data for porphyry copper exploration*", Int J Image Data Fusion:1–21. https://doi.org/10.1080/19479832.2020. 183862. (2020).

[25] Bolouki S.M., Ramazi H.R., Maghsoudi A., Pour A.B., Sohrabi G., *"A remote sensing-based application of Bayesian networks for epithermal gold potential mapping in Ahar-Arasbaran area*", NW Iran. Remote Sens 12:105 (2020).

[26] Mahboob M.A., Genc B., Celik T., Ali S., Atif I., *"Mapping hydrothermal minerals using remotely sensed reflectance spectroscopy data from Landsat*", J South Afr Inst Min Metall 119(3) (2019) 279–289.

[27] Traore M., Takodjou Wambo J.D., Ndepete C.P., Tekin S., Beiranvand Pour A., Muslim M.A., *"Lithological and alteration mineral mapping for alluvial gold exploration in the south east of Birao area",* Central African Republic using Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) data. J Afr Earth Sci 170 (2020).

[28] Takodjou Wambo J.D., Pour A.B., Ganno S., Asimow P.D., Zoheir B., Reis Salles R.D., Nzenti J.P., Pradhan B., Muslim A.M., *"Identifying high potential zones of gold mineralization in a sub-tropical region using Landsat-8 and ASTER remote sensing data: a case study of the Ngoura-Alborz*", NW Iran. Geologica Carpathica 65, 3 (2014) 207-225.

[11] Azimzadeh Z., *"Petrology of volcanic and plutonic rocks in Zandabad area (northwest of Ahar), with a view to the economic potential of the area. Master Thesis",* Shahid Beheshti University, *(in Persian)* (1999).

[12] Jamali H., *"Metallogenic zonation and their tectono-magmatic control at Ahar- Arasbaran magmatic belt, NW Iran",* Ph.D Thesi, *(in Persian)* Khrazmi Universitys (1999).

[13] Whitney DL., Evans BW., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals",* American Mineralogist, Volume 95 (2010) pages 185-187.

[14] Sabins F., *"Remote sensing for mineral exploration*", Ore Geol Rev 14 (1999) 157–183.

[15] Robert F., Brommecker R, Bourne B, Dobak PJ, Mcewan C, Rowe RR, Zhou X., *"Models and exploration methods for major gold deposit types. Proceedings of Exploration 07*", Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration, 691–711 (2007).

[16] Van der Meer F.D., Van der Werff H.M.A., Van Ruitenbeek F.J.A., Hecker C.A., Bakker W.H., Noomen M.F., Van der Meijde M., Carranza E.J.M., Smeth J.B., Woldai T., *"Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: a review*", Int J Appl Earth Obs Geoinf 14 (2012) 112–128.

[17] Cardoso-Fernandes J., Teodoro A.C., Lima A., Roda-Robles E., *"Semi-automatization of support vector machines to map lithium (Li) bearing pegmatites*", Remote Sens 12(14) (2020) 2319.

[18] Goetz A., *"Three decades of hyperspectral remote sensing of the Earth: a personal view*", Remote Sens Environ 113 (2009) S5–S16.

[19] Cudahy T., *"Mineral mapping for exploration: an Australian journey of evolving spectral sensing technologies and industry collaboration*", Geosciences 6 (2016) 52.

[20] Mielke C., Bösche N., Rogaß C., Segl K., Gauert C., Kaufmann H.,*" Potential applications of the Sentinel-2 multispectral sensor and the Enmap hyperspectral sensor in mineral exploration",* EARSeL eProceedings, 13(2) (2014) 93-102.

[30] Rajesh H.M., *"Application of remote sensing and GIS in mineral: resource mapping-an overview*", J Mineral Petrol Sci 99(3) (2004) 83–103.

Colomines goldfield", eastern Cameroon. Ore Geol Rev 122 (2020).

[29] Cardoso-Fernandes J., Teodoro A.C., Lima A., Perrota M., Roda-Robles E., *"Detecting Lithium (Li) mineralizations from space: current research and future perspectives",* Appl Sci (Switzerland) 10(5): 1785 (2020a).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.4.2.2]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.4.599]